

612.43765X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): Karine BROTO

Serial No.:

Filed: April 23, 2004

Title: METHOD FOR DETERMINING A SEISMIC WAVE  
VELOCITY MODEL IN A HETEROGENEOUS  
UNDERGROUND FORMATION

Group:

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Mail Stop Patent Application  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

April 23, 2004

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on French Patent Application No.(s) 03/05.292 filed April 29, 2003.

A certified copy of said French Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

  
Donald E. Stout  
Registration No. 26,422

DES/nac  
Attachment  
(703) 312-6600

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

07 AVR. 2004

Fait à Paris, le \_\_\_\_\_

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Martine PLANCHE". It is enclosed in a stylized oval border.

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIETE  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**cerfa**  
N° 11354\*02

### REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

#### page 1/2

**BR1**

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

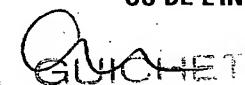
DB 540 e W / 010801

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>29 AVR. 2003</b> <b>LIEU</b> <b>09</b> <b>N° D'ENREGISTREMENT</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE</b> PAR L'INPI		<b>Réserve à l'INPI</b> <b>0305292</b> <b>29 AVR. 2003</b>	
<b>Vos références pour ce dossier</b> <i>( facultatif )</i> JC/CLN			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b>		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N°	Date
			<input type="checkbox"/>
<i>Transformation d'une demande de brevet européen</i> <i>Demande de brevet initiale</i>		N°	Date
			<input type="checkbox"/>
<b>3 TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) <b>METHODE POUR DETERMINER UN MODELE DE VITESSE D'ONDES SISMIQUES DANS UNE FORMATION SOUTERRAINE HETEROGENE</b>			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> <b>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE</b> <b>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE</b> <b>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation Date <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> N° Pays ou organisation Date <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> N° Pays ou organisation Date <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> N° <input type="checkbox"/> <b>S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »</b>	
<b>5 DEMANDEUR</b> (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		<b>INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE</b>	
Prénoms			
Forme juridique		Organisme Professionnel	
N° SIREN		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Code APE-NAF		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Domicile ou siège	Rue	1 et 4 avenue de Bois Préau	
	Code postal et ville	9218512 Rueil-Malmaison cedex	
	Pays	France	
Nationalité		Française	
N° de téléphone <i>( facultatif )</i>		01 47 52 60 00	N° de télécopie <i>( facultatif )</i> 01 47 52 70 03
Adresse électronique <i>( facultatif )</i>			
<input type="checkbox"/> <b>S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »</b>			

**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**
**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE  
page 2/2**

REMISE DES PIÈCES		Réervé à l'INPI
DATE		29 AVR. 2003
LIEU	y 9	
N° D'ENREGISTREMENT	0305292	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		

DB 540 @ W / 010801

<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>( facultatif )</i>		JC/CLN
<b>6 MANDATAIRE</b> ( <i>s'il y a lieu</i> )		
Nom		ELMALEH
Prénom		Alfred
Cabinet ou Société		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		
Adresse	Rue	1 et 4 avenue de Bois Préau
	Code postal et ville	92152 Rueil-Malmaison cedex
	Pays	France
N° de téléphone <i>( facultatif )</i>		01 47 52 60 00
N° de télécopie <i>( facultatif )</i>		01 47 52 70 03
Adresse électronique <i>( facultatif )</i>		
<b>7 INVENTEUR (S)</b>		
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Paiement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i>		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt
		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention <i>( joindre un avis de non-imposition )</i> <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention <i>( joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence )</i> : AG <input type="text"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé « Suite », indiquez le nombre de pages jointes		
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> <i>( Nom et qualité du signataire )</i>		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 
Alfred ELMALEH, Directeur - Propriété Industrielle		

5 La présente invention concerne une méthode permettant de déterminer un modèle de vitesse d'ondes sismiques captées par des récepteurs couplés avec une formation souterraine, d'après des enregistrements multi-départs de ces ondes.

La méthode permet un accès facilité à l'information cinématique avant sommation associée aux événements contenus dans les enregistrements sismiques, qui est combiné à 10 une technique d'inversion cinématique avant sommation en vue de l'imagerie des interfaces géologiques du sous-sol.

Par "information cinématique avant sommation", nous entendons les temps de trajet associés aux réflexions enregistrées par des couples source-capteur situés à des distances variables l'un de l'autre. A "accès facilité", nous opposons un pointé manuel des 15 événements sismiques dans les collections multi-départs. Par "méthode d'inversion cinématique avant sommation", nous entendons une méthode permettant, à partir de l'information cinématique extraite des enregistrements sismiques (et non d'une approximation de cette information cinématique), de retrouver la géométrie des réflecteurs associés ainsi que les vitesses de couche.

## 20 ETAT DE LA TECHNIQUE

La sismique réflexion est largement utilisée en exploration pétrolière, notamment pour produire des images de la subsurface à partir de l'information contenue dans les ondes qui se sont propagées et réfléchies sur les discontinuités géologiques du sous-sol.

Plus précisément, les méthodes d'imagerie utilisent l'information cinématique 25 associée aux réflexions sismiques majeures (i.e. les temps de trajet des ondes s'étant réfléchies sur les discontinuités principales du sous-sol) pour déterminer un macro modèle de vitesse du sous-sol, qui servira lui-même à transformer les enregistrements sismiques temporels en une image profondeur de la subsurface.

L'accès à l'information cinématique nécessaire à la détermination du modèle de vitesse requiert l'interprétation des événements sismiques dans les enregistrements sismiques multi-départs. Or les données sismiques multi-déports sont généralement caractérisées par un mauvais rapport signal sur bruit, d'où une défaillance des pointés automatiques classiques et la nécessité d'effectuer un pointé des données sismiques manuel long et coûteux. Par ailleurs, pour les campagnes sismiques 3D (prédominantes de nos jours par rapport aux campagnes 2D), la quantité de données à interpréter est un volume 4D qui peut atteindre des tailles de l'ordre de la centaine de GigaOctets, voire de l'ordre du TeraOctets, rendant la tâche interprétative encore plus longue et fastidieuse.

Afin d'éviter cette étape d'interprétation des collections sismiques multi-déports, les géophysiciens ont développé des méthodes basées sur des approximations de la géométrie des événements sismiques dans les collections multi-déports. Pour établir ces approximations, ces méthodes émettent des hypothèses sur la complexité du sous-sol, hypothèses qui peuvent porter sur la géométrie des discontinuités géologiques du sous-sol et sur les variations de vitesse de couches. On citera par exemple la méthode décrite dans Taner et Kohler (1969) qui suppose un milieu stratifié composé de couches planes horizontales à vitesses de couches homogènes et isotropes, celle décrite dans Levin (1971) qui étend la méthode précédente à des couches pentées. D'autres variantes ont été proposées, mais de façon générale, les méthodes existantes sont basées sur une hypothèse hyperbolique de la courbe des temps de trajet dans les collections multi-déports. Or cette hypothèse est violée dès que les discontinuités géologiques du sous-sol ne sont plus planes et/ou dès que les vitesses de couche présentent des variations latérales.

Nous proposons ici une méthode pour approcher au mieux les temps de trajet des collections multi-déports dans le cas où les discontinuités géologiques du sous-sol ont une géométrie quelconque et où les vitesses de couche sont modérément variables latéralement, et ce, tout en limitant le temps humain requis pour l'interprétation des enregistrements sismiques. Les temps de trajet obtenus seront alors traités par une méthode d'inversion cinématique avant sommation qui permet de prendre en compte des cinématiques complexes telle que la tomographie de temps de trajet, décrite par exemple dans le document suivant :

- Bishop, T. et al, 1985, « Tomographic Determination of Velocity and Depth in Laterally Varying Media » Geophysics, 50 N°6, 903-923.

La méthode pourra également s'appliquer dans les cas où les vitesses de couche sont variables latéralement, mais de façon itérative, le modèle de vitesse après mise à jour à une itération donnée par application d'une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle que la tomographie de réflexion précédemment citée servant de modèle initial pour l'itération suivante.

#### LA METHODE SELON L'INVENTION

La méthode selon l'invention permet de déterminer un modèle de vitesse d'ondes sismiques captées par des récepteurs sismiques couplés avec une formation souterraine, en réponse à l'émission d'ondes sismiques dans le sous-sol par une source sismique, après 10 réflexion sur des interfaces géologiques de la dite formation, à partir d'enregistrements multi-départs de ces ondes.

Pour chaque événement sismique repéré sur les enregistrements et pour chaque couche délimitée par les dites interfaces, la méthode comporte au moins les étapes suivantes :

- 15        a) à partir des enregistrements sismiques avant sommation, on construit une collection iso-déport, dont on extrait une information cinématique ou des temps de trajet associés à l'événement ;
- b) on choisit une gamme de vitesse autour d'une vitesse de référence dans la dite couche que l'on échantillonne avec un pas défini ;
- 20        c) pour chaque échantillon de vitesse, on applique une technique d'inversion à vitesse fixée afin de déterminer, à partir des temps de trajet extraits de la collection iso-déport, la géométrie de la dite interface pour l'échantillon de vitesse en question de façon à obtenir une série de couples interface/vitesse pour le dit événement ;
- d) on calcule l'information cinématique associée à chaque couple interface/vitesse obtenu, pour des couples source-récepteur correspondants à des collections multi-départs existant dans les enregistrements sismiques ;
- e) pour chaque couple interface/vitesse et pour chaque collection multi-départs sélectionnée, on évalue la cohérence entre les temps de trajet multi-départs ainsi calculés et les enregistrements sismiques, et on sélectionne pour chaque collection multi-départs la

courbe de temps de trajet offrant la cohérence maximale avec les enregistrements sismiques ;

5 f) on applique une méthode d'inversion cinématique avant sommation en utilisant les temps de trajet multi-départs obtenus pour l'ensemble des collections multi-départs sélectionnées, afin de déterminer la géométrie et la vitesse de la couche considérée ; et

g) on itère  $n$  fois ( $n \geq 0$ ) les étapes a) à f) en considérant à chaque itération le modèle de vitesse obtenu à l'itération précédente comme modèle de référence pour définir la vitesse de référence de la nouvelle itération.

10 Suivant un mode de mise en œuvre convenant au cas où la gamme de vitesse choisie ne s'avère pas assez précise à l'issue soit de l'itération précédente soit des étapes a) à f), on réalise  $n$  fois l'étape g) avec  $n \geq 1$ .

15 Suivant un autre mode de mise en œuvre convenant au cas où la distribution des vitesses varie fortement latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'une connaissance a priori suffisamment précise sur la distribution de vitesse dans la couche considérée, on réalise l'étape g) sur des gammes de départs de plus en plus larges au fur et à mesure des itérations.

20 Suivant un autre mode de mise en œuvre convenant au cas où la distribution des vitesses varie fortement latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'une connaissance a priori suffisamment précise sur la distribution de vitesse dans la couche considérée, on réalise l'étape g) sur des grilles de collections multi-départs de plus en plus fines au fur et à mesure des itérations.

25 Suivant un mode de mise en œuvre convenant au cas où la géométrie de l'interface recherchée est génératrice de triplications, on réalise l'étape e) en considérant les branches de triplications dans les collections multi-départs indépendamment les unes des autres. On utilise par exemple des outils de tracé de rayons et d'inversion permettant de prendre en compte des arrivées multi-valuées.

Suivant un exemple de mise en œuvre, à l'étape a) on construit de préférence une collection iso-déport à déport nul ou à déport proche.

Suivant un autre exemple de mise en œuvre, à l'étape c) on applique avantageusement une technique d'inversion cinématique à vitesse fixée telle qu'une migration de carte.

5 Suivant un autre exemple de mise en œuvre, on calcule à l'étape d) l'information cinématique en traçant des rayons multi-départs sur l'interface de chaque couple interface-vitesse.

Suivant un autre exemple de mise en œuvre, on réalise avantageusement l'étape f) en appliquant une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle qu'une tomographie de temps de trajet avant sommation.

10 Dans sa définition la plus générale correspondant au cas où le nombre n d'itérations à réaliser peut éventuellement être nul, la méthode s'applique par exemple si la distribution de vitesse dans chaque couche est peu variable latéralement et/ou dans le cas où l'on dispose d'un a priori sur la distribution de vitesse dans la couche considérée suffisamment précis.

15 Dans sa définition plus restrictive où le nombre n d'itérations à réaliser est au moins égal à 1, la méthode s'applique par exemple dans le cas où la distribution des vitesses dans les couches de la formation géologique est fortement variable latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'un a priori suffisamment précis sur la distribution de vitesse dans la couche considérée.

## 20 PRESENTATION SUCCINCTE DES FIGURES

Les caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de mise en œuvre, en se référant aux dessins annexés où :

- 25 - les figures 1a à 1c montrent respectivement une application de la méthode à une collection multi-départs de type récepteur commun (Fig.1a), à une collection récepteur commun sur laquelle ont été superposés les temps de trajet multi-départs obtenus avec différentes valeurs de vitesse de couche (Fig.1b) et à une collection récepteur commun sur laquelle a été superposée la courbe de temps de trajet multi-départs prédicta montrant le plus de cohérence avec l'événement sismique considéré (Fig.1c).



## DESCRIPTION DETAILLEE

On dispose d'enregistrements sismiques que l'on a obtenus au moyen d'un dispositif sismique comportant une source sismique émettant des ondes sismiques qui se propagent dans le sous-sol, un ensemble de récepteurs sismiques couplés avec le milieu qui captent les ondes renvoyées par les discontinuités du sous-sol en réponse aux ondes émises, et d'un laboratoire d'enregistrement des signaux sismiques captés.

### I - Cas standard

Nous présentons ci-après un premier mode de mise en œuvre de la méthode, dans le cas où la distribution des vitesses dans la formation géologique précédant la couche en question étant connue ou ayant été estimée par ailleurs, la géométrie de la couche en question ne donnant pas lieu à des triplications, la vitesse à déterminer étant peu variable latéralement ou un a priori suffisamment précis existant sur cette vitesse. On réalise les étapes suivantes :

I-1 A partir des enregistrements sismiques avant sommation ou encore multi-départs, on construit une collection à déport constant, de préférence à déport nul (en réalité une approximation d'une collection à déport nul, connue sous le nom de « stack », caractérisée par un meilleur rapport signal sur bruit que les sections iso-déport individuelle) ou à déport proche (correspondant au déport le plus faible des enregistrements multi-départs).

Si une interprétation cohérente et suffisamment complète de l'événement sismique en cours est réalisable dans cette collection, on procède à son pointé directement dans cette collection; sinon, afin d'accéder aux temps de trajet associés à l'événement en question, on pourra avoir recours à un détour dans le domaine migré temps ou profondeur suivi d'une démigration temps ou profondeur, comme selon la méthode décrite dans :

- Ehinger, A., and Lailly, P., 1995, Velocity model determination by the SMART method, Part 1: Theory: 65<sup>th</sup> Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, pages 739-742.

I-2 On se donne une vitesse de référence pour la couche en question, ainsi qu'une incertitude sur cette vitesse de référence et un pas d'échantillonnage de la gamme de vitesse ainsi formée; on obtient ainsi une série d'échantillons de vitesse pour

la couche en question ; la vitesse de référence peut être quelconque (i.e. variable latéralement et verticalement); en particulier, si l'on dispose d'une distribution de vitesse obtenue par ailleurs, on pourra utiliser cette vitesse comme vitesse de référence; si l'on ne dispose pas d'information a priori sur la vitesse de la couche, on pourra par exemple prendre une vitesse de référence homogène latéralement et verticalement.

I-3 Pour chacun des échantillons de vitesse, on applique une technique d'inversion de type cinématique à vitesse fixée telle qu'une migration de carte par exemple, afin de déterminer, à partir des temps de trajet extraits de la section à déport constant, la géométrie de la dite interface pour l'échantillon de vitesse en question ; on obtient ainsi une série de couples interface/vitesse pour l'événement en question; on trouvera une description de la migration de carte par exemple dans la référence suivante :

- Yilmaz, O., 2001, Seismic Data Analysis - Processing, Inversion and Interpretation of Seismic Data: Society of Exploration Geophysicists.

Il peut éventuellement s'avérer impossible de trouver un modèle d'interface expliquant les temps de trajet pour la vitesse fixée en cours (impossibilité d'atteindre la convergence). Pour une plus grande efficacité de la méthode, on peut ne sélectionner que des couples interface/vitesse pour lesquels l'écart entre les temps de trajet observés et les temps de trajet calculés sur le modèle obtenu après convergence est inférieur à un certain seuil.

A noter que cette inversion à vitesse fixée peut tout aussi bien être réalisée par toute autre technique cinématique équivalente.

I-4 On calcule l'information cinématique associée à chaque couple interface/vitesse obtenu par exemple par un tracé de rayons multi-départs sur l'interface de chaque couple interface/vitesse ainsi obtenu et pour des couples source-récepteur correspondant à des collections multi-départs existantes dans les enregistrements sismiques ; on choisit de préférence de travailler dans des collections point milieu commun, en particulier si la vitesse réelle présente des variations latérales non prises en compte dans le modèle de référence.

I-5 Pour chaque couple interface/vitesse et pour chaque collection multi-départs sélectionnée, on évalue la cohérence entre les temps de trajet multi-déports ainsi calculés et les enregistrements sismiques ; on peut par exemple employer une technique dite de calcul de semblance, pour laquelle on somme l'énergie rencontrée dans les données sismiques le long d'une courbe qui correspondra ici aux temps de trajet multi-déports calculés par tracé de rayons. Dans un cas idéal, il existera un échantillon de vitesse pour lequel la courbe de temps de trajet prédict se superposera parfaitement à l'événement sismique considéré, ce qui se traduira par une mesure de cohérence maximale. Il est à noter que cette évaluation pourra se faire sur une gamme limitée de déport, définie par l'utilisateur ou automatiquement, par exemple par examen de la courbe montrant l'évolution de la cohérence en fonction de la gamme de déports.

Pour chaque collection multi-déports, on sélectionne la courbe de temps de trajet la plus en accord avec les enregistrements sismiques, et les temps de trajet multi-déports constituant cette courbe sont réservés. Il est à noter que la courbe de temps de trajet offrant la meilleure cohérence pourra être ajustée si nécessaire en cherchant dans une fenêtre verticale prédefinie le maximum (ou le minimum en fonction de la polarité de l'événement considéré) d'amplitude le plus proche pour chaque trace sismique de la collection multi-déport considérée.

I-6 Les temps de trajet multi-déports ainsi recueillis pour l'ensemble des collections multi-déports sélectionnées sont alors injectés dans une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle qu'une tomographie de temps de trajet afin de déterminer la géométrie et la vitesse de la couche en question.

I-7 Il est possible que l'on soit obligé d'itérer les étapes précédentes dans le cas où la cohérence avec les enregistrements sismiques n'est pas estimée globalement satisfaisante par l'opérateur.

## II) Cas particuliers

II-1 Dans le cas où la distribution des vitesses dans les couches de la formation géologique est fortement variable latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'un a priori suffisamment précis sur la distribution de vitesse dans la couche considérée, la méthode selon l'invention comporte les étapes suivantes :

L'ensemble des étapes précédentes est appliqué de façon itérative, les temps de trajet récoltés au cours d'une itération étant utilisés pour une mise à jour du modèle de vitesse par une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle que la tomographie de temps de trajet, modèle qui sert alors de modèle de vitesse d'entrée pour une nouvelle itération de la méthode.

Il est à noter que, afin de s'affranchir au mieux des effets des variations latérales de vitesse qui auraient une longueur d'onde plus faible que le déport maximal des collections multi-départs, on pourra élargir la gamme de déports considérée par la méthode au fur et à mesure des itérations. Plus précisément, on initiera la méthode sur une gamme de déport limitée, puis la distribution de vitesse trouvée à partir de cette gamme restreinte de déports servira de modèle de référence pour une nouvelle itération de la méthode lors de laquelle on considérera une gamme de déport plus large, et ainsi de suite. Il est à noter que le choix de la gamme de déports considérée à une itération donnée pourra se faire par exemple par examen de la courbe montrant l'évolution de la cohérence en fonction de la gamme de déports.

Pour les cas où la distribution des vitesses varie très fortement latéralement, on pourra en plus adopter une approche multi-grilles, plus précisément, on initiera la méthode sur une grille lâche de collections multi-déports (afin de déterminer les grandes longueurs d'onde des variations de vitesse), puis l'on prendra en compte des grilles de collections multi-déports de plus en plus fines au fur et à mesure des itérations.

II-2 Dans le cas où la géométrie de l'interface recherchée est génératrice de triplications et si l'on souhaite également déterminer les zones de la couche considérée donnant lieu à ces triplications, il est avant tout nécessaire de disposer de méthodes d'inversion telles que des méthodes d'inversion cinématique (à vitesse fixée et avant sommation) par exemple permettant de prendre en compte des arrivées multi-valuées. Une telle méthode est décrite dans la référence suivante :

- Delprat-Jannaud, F. et Lailly, P., (1995), How to handle multiple arrivals? Journal of Geophysical Research, 100, no. B1, 703-715.

Les données d'entrée de ce type de méthode sont les temps de trajet multi-valués associés aux événements sismiques considérés, ainsi que les paramètres de rais associés à ces temps de trajet. Afin d'obtenir les temps de trajet multi-valués et les paramètres de rais

associés aux données à déport constant, on pourra avoir recours à une boucle de migration-démigration (comme décrite dans la méthode Ehinger and Lailly (1995) précédemment citée), en effectuant l'étape de démigration à l'aide d'un tracé de rayons permettant le calcul d'arrivées multi-valuées. Un tel tracé de rayons est décrit par exemple dans :

- 5 - Jurado, F., Lailly, P., and Ehinger, A., (1998), Fast 3D two-point raytracing for traveltimes tomography: Proceedings of SPIE, Mathematical Methods in Geophysical Imaging V, 3453, 70-81.

Puis, après avoir constitué les différents couples interface/vitesse par inversion cinématique à vitesse fixée sur les données temps/paramètres de rais ainsi obtenues, on 10 calcule l'information cinématique, comme décrit dans le cas le plus général, par le biais par exemple de tracés des rayons multi-départs dans chacun de ces modèles et pour chacune des collections multi-départs sélectionnées, mais cette fois, adapté aux calculs des arrivées multi-valuées tel que celui décrit dans Jurado et al. (1998) précédemment cité. On obtient ainsi, pour chaque collection multi-départs sélectionnée, à la fois des temps de trajet multi-valués avant sommation et leurs paramètres de rais associés.

Puis, l'analyse de cohérence entre les courbes de temps de trajet ainsi prédites et les événements considérés dans les données sismiques sera réalisée tel que décrit dans le cas le plus général, mais de façon indépendante pour chacune des branches des arrivées multi-valuées. Les temps de trajet ainsi récoltés pour chacune des branches des arrivées multi-valuées seront alors injectés, avec leur paramètres de rais associés, dans une méthode 20 d'inversion cinématique avant sommation permettant de prendre en compte les arrivées multi-valuées, telle que celle décrite dans Delprat-Jannaud et Lailly (1995) précédemment citée.

On a décrit ici une application de la méthode à la détermination d'un modèle de 25 vitesse des ondes sismiques dans une formation souterraine. Il est bien évident toutefois que la méthode peut tout aussi bien s'appliquer à la détermination de la vitesse de propagation d'autres types d'ondes dans un milieu hétérogène présentant des discontinuités.

## REVENDICATIONS

- 1) Méthode pour déterminer un modèle de vitesse d'ondes sismiques captées par des récepteurs sismiques couplés avec une formation souterraine, en réponse à l'émission d'ondes sismiques dans le sous-sol par une source sismique, après réflexion sur des interfaces géologiques de la dite formation, à partir d'enregistrements multi-départs de ces ondes, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins les étapes suivantes pour chaque événement sismique repéré sur les enregistrements et pour chaque couche délimitée par les dites interfaces :
- 5           a) à partir des enregistrements sismiques avant sommation, on construit une collection iso-déport, dont on extrait une information cinématique ou des temps de trajet associés à l'événement ;
- 10           b) on choisit une gamme de vitesse autour d'une vitesse de référence dans la dite couche que l'on échantillonne avec un pas défini ;
- 15           c) pour chaque échantillon de vitesse, on applique une technique d'inversion à vitesse fixée afin de déterminer, à partir des temps de trajet extraits de la collection iso-déport, la géométrie de la dite interface pour l'échantillon de vitesse en question de façon à obtenir une série de couples interface/vitesse pour le dit événement ;
- 20           d) on calcule l'information cinématique associée à chaque couple interface/vitesse obtenu, pour des couples source-récepteur correspondants à des collections multi-départs existant dans les enregistrements sismiques ;
- 25           e) pour chaque couple interface/vitesse et pour chaque collection multi-départs sélectionnée, on évalue la cohérence entre les temps de trajet multi-déports ainsi calculés et les enregistrements sismiques, et on sélectionne pour chaque collection multi-déports la courbe de temps de trajet offrant la cohérence maximale avec les enregistrements sismiques ;
- f) on applique une méthode d'inversion cinématique avant sommation en utilisant les temps de trajet multi-déports obtenus pour l'ensemble des collections multi-déports sélectionnées, afin de déterminer la géométrie et la vitesse de la couche considérée ; et

- g) on itère  $n$  fois ( $n \geq 0$ ) les étapes a) à f) en considérant à chaque itération le modèle de vitesse obtenu à l'itération précédente comme modèle de référence pour définir la dite vitesse de référence.
- 2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'on réalise  $n$  fois  
5 l'étape g) avec  $n \geq 1$  dans le cas où la gamme de vitesse choisie ne s'avère pas assez précise à l'issue de l'itération précédente où des étapes a) à f).
- 3) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans le cas où la distribution des vitesses varie fortement latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'une connaissance a priori suffisamment précise sur la distribution de  
10 vitesse dans la couche considérée, on réalise l'étape g) sur des gammes de départs de plus en plus larges au fur et à mesure des itérations.
- 4) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans le cas où la distribution des vitesses varie fortement latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'une connaissance a priori suffisamment précise sur la distribution de  
15 vitesse dans la couche considérée, on réalise l'étape g) sur des grilles de collections multi-départs de plus en plus fines au fur et à mesure des itérations.
- 5) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, à l'étape e), dans le cas où la géométrie de l'interface recherchée est génératrice de triplications, on considère les branches de triplications dans les collections multi-départs  
20 indépendamment les unes des autres.
- 6) Méthode selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'on réalise l'étape e) en utilisant des outils de tracé de rayons et d'inversion permettant de prendre en compte des arrivées multi-valuées.
- 7) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on construit à l'étape a) une collection iso-déport à déport nul ou à déport proche.  
25
- 8) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on applique à l'étape c) une technique d'inversion cinématique à vitesse fixée telle qu'une migration de carte.

- 9) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on calcule à l'étape d) l'information cinématique en traçant des rayons multi-départs sur l'interface de chaque couple interface-vitesse.
- 10) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on réalise l'étape f) en appliquant une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle qu'une tomographie de temps de trajet avant sommation.

1er dépôt

1/1

Position source

Temps

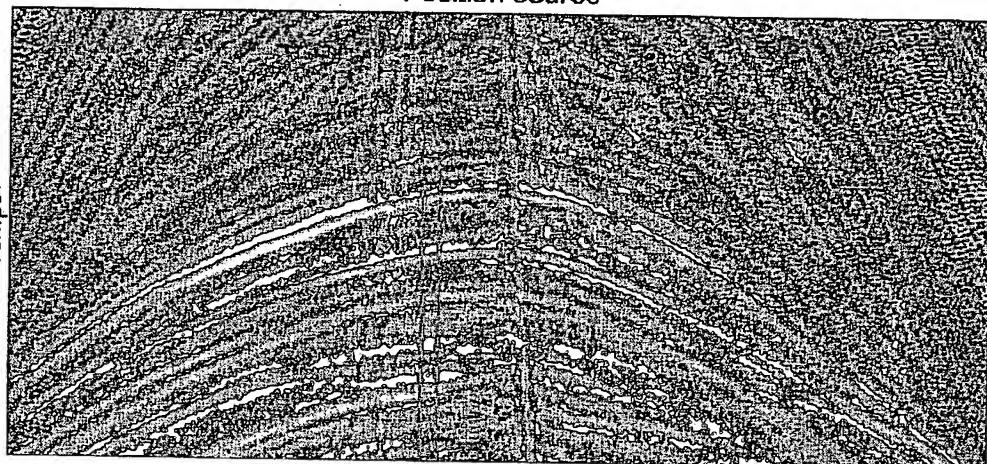


FIG.1A

Temps

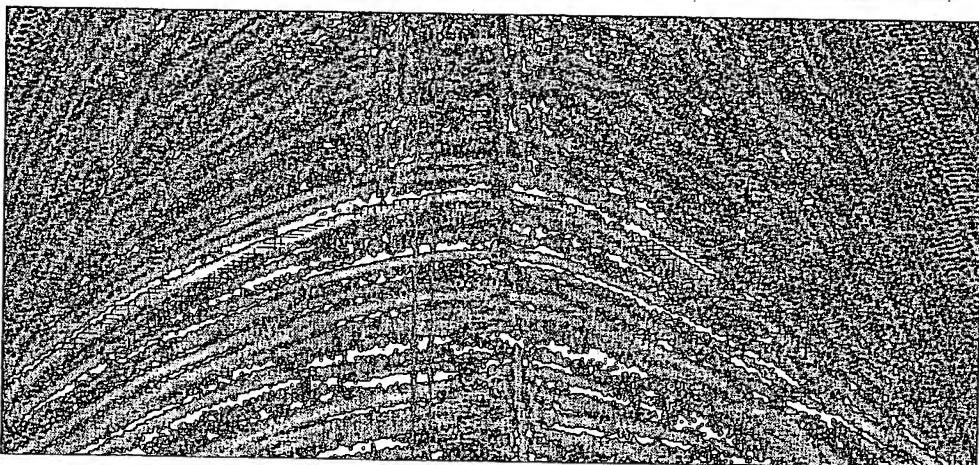


FIG.1B

Temps

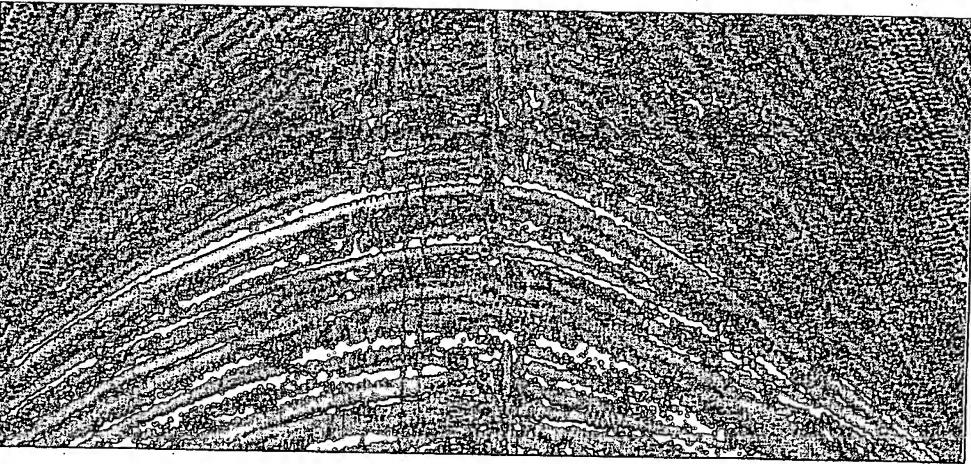


FIG.1C



## DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

## BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**cerfa**  
N° 11235\*03

## DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 @ W / 270601

<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>		JC/CLN
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) METHODE POUR DETERMINER UN MODELE DE VITESSE D'ONDES SISMIQUES DANS UNE FORMATION SOUTERRAINE HETEROGENE		
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b> INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE		
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b>		
<b>1 Nom</b>		BROTO
Prénoms		Karine
Adresse	Rue	15 Boulevard Richelieu
	Code postal et ville	[9 2 5 0 0] Rueil-Malmaison
Société d'appartenance (facultatif)		
<b>2 Nom</b>		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	[ ]
Société d'appartenance (facultatif)		
<b>3 Nom</b>		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	[ ]
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> <b>(Nom et qualité du signataire)</b>		
Alfred ELMALEH, Directeur - Propriété Industrielle		

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**